MARS 2015

# PAUL SABATIER

magazine scientifique

n° 35

## *Learning Games* apprendre en jouant !

Dossier **Spécial Patrimoine**

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Avec la participation de

Délégation Midi-Pyrénées

Délégation régionale Midi-Pyrénées, Limousin

**Paul Sabatier**
**n° 35 • Mars 2015**

**Illustration de couverture :**
**You learn, you win !**
© SGRN

**Directeur de la publication :**
Bertrand Monthubert

**Rédactrices en chef :**
Sylvie Roques
Carine Desaulty

**Comité de rédaction :**
Jean-François Arnal
Patrick Calvas
Carine Desaulty
Guy Lavigne
Frédéric Mompiou
Martine Poux
Sylvie Roques
Nadia Vujkovic

Valéria Medina et Alexandre Papin (délégation Midi-Pyrénées du CNRS)
Christine Ferran (délégation régionale Midi-Pyrénées, Limousin de l'Inserm)

**Secrétariat de rédaction :**
Nadia Vujkovic

**Conseillère de rédaction :**
Anne Debroise

**Diffusion :**
Joëlle Dulon

**Coordination du dossier « *Learning Games* : apprendre en jouant ! » :**
Pierre Lagarrigue

**Avec le concours de la Direction de la communication et de la culture**
**Conception graphique et impression :**
Ogham-Delort
05 62 71 35 35 n° 2730

dépôt légal :
Octobre 2014
N° ISSN : 1779-5478
Tirage : 2 000 ex.
Université Toulouse III - Paul Sabatier
118, route de Narbonne
31 062 Toulouse cedex 9

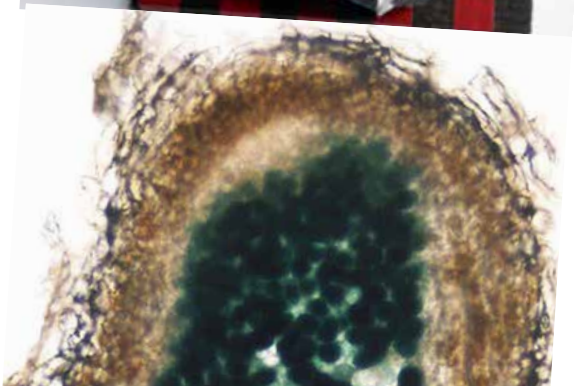
## ⊕ d'infos

Vous pouvez consulter et télécharger ce magazine et les numéros antérieurs sur le site **www.univ-tlse3.fr** (rubrique « diffusion des savoirs/ le magazine scientifique »)

## Dossier *Learning Games* : apprendre en jouant !
p. 4

## Dossier Spécial Patrimoine
p. 11

## Vie des Laboratoires
p. 16



# Édito

Nous voici arrivés au port, à bon port, devrais-je dire. Nous voilà en effet parvenus au moment où le magazine scientifique Paul Sabatier va céder la place et trouver toute sa place dans le magazine scientifique de l'Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées, au moment où notre voix va rejoindre celle des autres établissements d'enseignement supérieur de Toulouse Midi-Pyrénées pour atteindre un autre retentissement, plus large au sein de notre communauté mais aussi du grand public.

En poursuivant la métaphore, j'ajouterai cependant que nous n'abandonnons pas notre magazine scientifique, nous sommes bien en train de lui donner une autre voilure, une autre envergure.

Vous avez donc entre les mains ce qui est le dernier numéro de la version papier du magazine Paul Sabatier qui se présente comme une édition un peu spéciale.

Il nous propose en effet deux magazines en un seul : **un dossier spécial sur les *serious games* d'une part,** et un encart, un quatre-pages intérieur, consacré au **patrimoine de notre université et à ses collections,** tout autant comme objets de recherche que de curiosité ou d'obligation patrimoniale.

Nous faisons ici cohabiter deux concepts, deux façons d'être : apprendre avec de nouvelles approches, avec le regard tourné résolument vers l'avenir, dans un monde plus virtuel, et apprendre avec les collections, en gardant les pieds sur terre, ancrés dans la réalité, tangible et bien réelle.

En voulant se pencher sur les *serious games*, l'équipe de rédaction a souhaité traiter des apprentissages par un nouveau vecteur de formation, les *learning games*, qui placent les étudiants dans des situations de simulation de situations réelles, une attitude favorable à l'acquisition de nouvelles connaissances.

En faisant le choix d'insérer un quatre-pages sur le patrimoine, j'ai personnellement voulu rendre hommages aux femmes et aux hommes qui ont, d'abord, constitué nos collections. Mais les quelques brefs articles qui illustrent notre patrimoine montrent aussi la vivacité de ces collections dans le monde actuel de la recherche.

C'est donc le grand écart que nous avons souhaité faire dans ce numéro, avec d'un côté le futur et de l'autre le passé. Quelque part, ces deux extrêmes se rejoignent aujourd'hui.

Je voudrais remercier Daniel Guédalia, pour le travail entrepris à la tête de cette publication depuis de nombreuses années, ainsi que Sylvie Roques et Carine Desaulty qui en assurent la responsabilité depuis peu dans une phase de transition vers le nouveau magazine. Avec eux, je veux enfin remercier le comité de rédaction, nos partenaires, toutes les chercheuses et tous les chercheurs pour leur implication et pour leurs contributions à la vie de ce magazine. Celui-ci s'éteint mais il ne disparaît pas : une « newsletter recherche » va en effet voir le jour. Ce projet, mené parallèlement par la Direction de la communication et de la culture et par la Direction du soutien aux laboratoires est en cours de finalisation. Mais ceci est une autre histoire dont nous reparlerons.

En attendant, bonne lecture !

**Professeur Bertrand Monthubert**

**Président de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier**

© A. Labat/UPS

© image KTM advance et SGRN

# *Learning Games*: apprendre en jouant !

**L'idée des *serious games*, ou jeux vidéo sérieux, est séduisante.**
Parmi ceux-ci, les *learning games* proposent d'apprendre en jouant, une attitude qui constitue un gage d'appropriation et d'investissement personnel dans le rapport à la connaissance.

Mais ce n'est pas tout. Les *learning games* permettent d'enseigner au plus grand nombre et de garantir une même qualité de formation à tous, quel que soit le territoire. Ces enjeux s'avèrent déterminants dans une société où la connaissance s'impose comme un vecteur socio-économique majeur.

## Tous publics

Les jeux évoluent bien sûr avec les pratiques socio-culturelles du public. Les *learning games*, qui utilisent tous les ressorts des jeux vidéos, sont évidemment en phase avec la génération née après les années 1980 (la « génération Y »), pour laquelle le recours au numérique pour accéder à l'information et au savoir est presque devenu un réflexe. Mais ils s'adressent aussi de façon plus large à tous les publics désireux d'acquérir des savoirs se transmettant par l'action.

En consacrant notre dossier aux *serious games*, nous traitons des apprentissages par un nouveau média de formation qui est encore un objet de recherche.

Si le sujet préoccupe naturellement la recherche en informatique, les chercheurs en sciences humaines et sociales, avec un rôle important des sciences de l'éducation, interviennent en amont et en aval de la recherche technologique.

### *Learning games*

**Parmi les différents types de *serious games* (*serious games* de sensibilisation, de promotion, d'information, etc), les learning games concernent plus spécifiquement la formation. Un *learning game* est un *serious game* dans lequel le scénario utilitaire est un scenario pédagogique. L'équation suivante illustre la définition d'un *learning game* sur laquelle s'appuient les travaux développés par les membres du *Serious Game Research Network***

**JEU VIDÉO + SCENARIO PÉDAGOGIQUE + FEEDBACK = LEARNING GAME [1]**

## KTM Advance

***KTM Advance*** **est un des membres du *Serious Game Research Network*. Cette société spécialisée dans la formation professionnelle mise ainsi sur les avancées en sciences cognitives et en technologies du jeu vidéo pour créer des produits d'*e-learning* et de MOOC (*massive open on line course*). Cette collaboration, peu classique au sein d'un GIS, permet aux chercheurs de tester en formation des produits de qualité industrielle et à l'industriel de s'impliquer dans de nombreux projets d'innovation collaboratifs, aussi bien technologiques que pédagogiques.**

## Révolution technologique

Les *serious games* constituent-ils une révolution technologique? Le débat est ouvert. Pour mériter cette appellation, ils devront répondre aux trois fondements du concept de révolution technologique: bousculer des techniques employées auparavant; se faire leur place sur le marché grâce à un modèle socio-économique favorisant le transfert de la technologie; et enfin être adoptés par les usagers au point de modifier leur mode de vie et celui de leur entourage et devenir un phénomène sociétal. Ce dossier donne quelques éléments pour alimenter le débat dans cette direction. Il fournit des exemples de produits innovants (en santé et en génie mécanique), aborde la dynamique d'apprentissage, la mise en marché d'un *serious game* et le plaisir de jouer. Enfin, il traite de la modélisation de scenarii de jeu et de leur rapport à l'intelligence artificielle.

## Passion et excitation

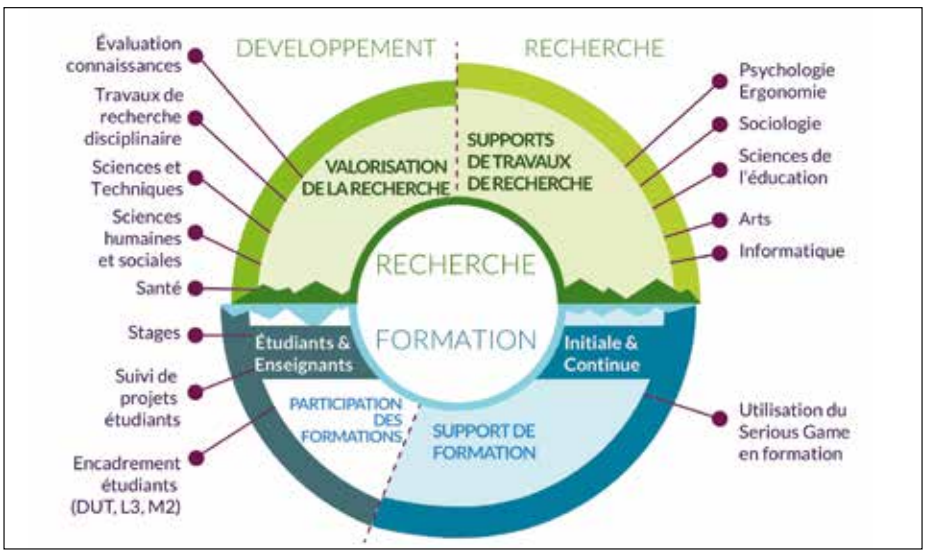
L'imaginaire, la créativité et les talents fécondent parfois des produits utiles. Façonner l'objet, le faire évaluer selon différents points de vue par des équipes d'experts n'ayant pas participé à son élaboration, le faire évoluer ensuite et procéder par itération dans un processus d'amélioration continue, tels sont les challenges à relever. Nous espérons que ce dossier transmettra aux lecteurs la passion et l'excitation de ceux qui œuvrent à la réussite du *Serious Game Research Network* au sein de l'Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées.

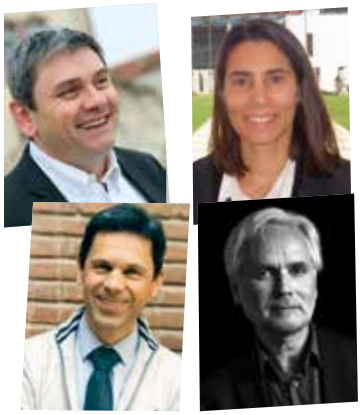
## *Serious Game Research Network*

**http://seriousgameresearchnetwork.univ-jfc.fr/.**

Traduction littérale de *serious game*, les jeux sérieux représentent une nouvelle vague de technologies logicielles, combinant jeu vidéo et scénario utilitaire en phase avec les modes d'apprentissage de la « génération Y » (née après les années 1980). L'association de compétences très diverses (universitaires, industriels présents sur le marché *d'e-learning* et du *serious game*, une communauté d'agglomération, une association) au sein d'un même groupe a permis de fonder le Groupement d'Intérêt Scientifique *Serious Game Research Network* (GIS SGRN). Sur ce secteur en pleine croissance, le GIS vise à créer un environnement de recherche, développement et diffusion basé sur une collaboration durable entre ses membres. Caractérisé par sa pluridisciplinarité, le GIS réunit en son sein toutes les compétences nécessaires à la réalisation de jeux sérieux, des études amont jusqu'à l'évaluation de l'outil en situation de formation. Mutualiser les ressources, apporter une réponse innovante aux besoins en formation initiale et en formation pour l'industrie et le monde socio-économique, soutenir des projets de R & D à finalité économique constituent ses finalités opérationnelles.

Le *Serious Game Research Network* bénéficie, pour la plupart des projets portés, du soutien de pôles de compétitivité, comme Cap Digital, AerospaceValley, Astech, Cancer Bio Santé...



**Hervé Pingaud,** président du GIS SGRN,
**Cathy Pons-Lelardeux,** présidente du conseil scientifique du GIS,
**Pierre Lagarrigue,** directeur du GIS et
**Yves Dambach,** PDG de KTM Advance

**Contacts**
herve.pingaud@univ-jfc.fr
pierre.lagarrigue@univ-jfc.fr

## Le marché du *Serious Game*

Sur le plan mondial, le pays le plus structuré autour du *serious game* est en même temps celui qui investit le plus dans ce domaine: les États-Unis représentent en effet, à eux seuls, plus de deux tiers du marché. D'après l'IDATE (Institut de données autour du monde numérique), le chiffre d'affaires mondial associé au *serious game* s'élèverait à 6.61 milliards d'euros en 2015 (tous segments de marché confondus). À l'image d'autres acteurs européens, la France s'inscrit encore dans un marché en devenir, nécessitant de poursuivre les initiatives publiques pour accompagner l'émergence du secteur. Selon les mêmes sources, le chiffre d'affaires français attendu pour 2015 serait de l'ordre de 80 millions d'euros.

Les grands comptes sont très demandeurs de ces solutions de formation et les financent. Les entreprises de taille petite à intermédiaire et la fonction publique ne peuvent accéder à ces solutions que lorsque le produit leur est rendu accessible financièrement, ce qui explique une croissance encore modérée en France. Rendre ce produit plus accessible en faisant les investissements en amont de l'offre et en diffusant les produits sur le plus grand nombre est donc un véritable enjeu. Il ne pourra être relevé en France que grâce à une convergence des moyens et des savoir-faire de la recherche publique et privée, comme c'est le cas au sein du *Serious Game Research Network.* ■

[1] C Lelardeux, « Introduction au *Serious game* », isbn 978-2-917-131-22-0, 2012

# Hôpitaux virtuels

Pour sauver des vies et éviter des drames, les médecins doivent prendre les bonnes décisions, rapidement. Parce que chaque situation est différente, l'expérience est très longue à acquérir. C'est l'enjeu de nouvelles applications virtuelles désormais proposées aux étudiants.

Les études de médecine ne consistent pas à simplement assimiler des connaissances scientifiques. Les futurs médecins doivent également acquérir des compétences cliniques et techniques. Mais surtout, la formation médicale exige de développer des attitudes et des comportements. Il faudra non seulement apprendre à s'adapter à tout type de patient, mais à tout type de collègues. De plus en plus souvent en effet, les soins qui sont délivrés résultent de l'action coordonnée de professionnels divers, ayant chacun leur compétence technique.

Les connaissances et l'environnement de travail des médecins évoluant rapidement, ceux-ci doivent continuer à se former tout au long de leur carrière dans le cadre du développement professionnel continu (DPC). Les recherches du GIS s'inscrivent dans cet objectif. Elles vont permettre de créer de nouveaux outils pour entraîner les professionnels de demain à une culture de sécurité de plus en plus exigeante et à la gestion des risques au bloc opératoire.

## Bloc opératoire virtuel

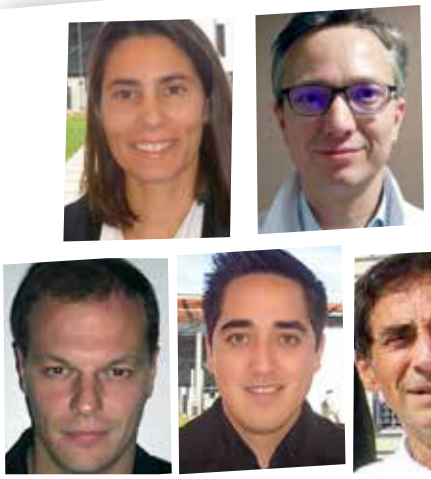
Le SGRN a par exemple développé un bloc opératoire virtuel. Le projet de *learning game* 3DVOR* représente l'univers 3D d'un bloc opératoire en temps réel. Il met en jeu tous les acteurs de santé qui interviennent depuis l'entrée du patient au bloc opératoire jusqu'à sa sortie. Il propose un entraînement collaboratif aux anesthésistes, chirurgiens, infirmiers, cadres de santé. Ce jeu permet de mettre les équipes en situation et d'apporter un débriefing semi-automatique standardisé mais adaptée à la stratégie mise en œuvre par les élèves en présence. Cette approche originale lui a d'ailleurs valu d'être financé par le fonds unique interministériel 2012 (FUI 12).

## Revue de morbidité et de mortalité

Dans un tout autre style, le SGRN a également développé un logiciel pour aider les équipes cliniques à conduire une revue de morbidité et de mortalité (RMM). Une RMM est une réunion au cours de laquelle on analyse de manière collective, rétrospective et systémique les événements indésirables (décès, complication, événement ayant pu causer un dommage à un patient) et qui a pour objectif de mettre en œuvre des solutions pour les éviter. Organiser des RMM est devenu obligatoire dans le cadre de la certification des établissements hospitaliers. Pourtant, les praticiens ne sont pas toujours formés ou informés de la méthodologie à mettre œuvre. Ils doivent aussi faire face à des difficultés d'ordre relationnel, la RMM étant parfois perçue comme inquisitrice et culpabilisante. C'est pour répondre à ce besoin qu'Easy RMM a été créé. Cet outil de formation à l'analyse et à la conduite de réunion morbi-mortalité est aujourd'hui accessible sur internet et utilisé dans les hôpitaux Henri Mondor. ■

* http://3dvor.univ-jfc.fr

*3D Virtual Operating Room, serious game centré sur la formation interprofessionnelle à la gestion des risques et à la sécurité au bloc opératoire © KTM Advance*



**Cathy Pons-Lelardeux,** ingénieure de recherche au CUFR Champollion, **Vincent Lubrano,** praticien hospitalo-universitaire (CHU Toulouse/UPS) **Vincent Minville,** professeur des universités - praticien hospitalier au CHU de Toulouse, **Thomas Rodsphon,** ingénieur au CHU de Toulouse et **Michel Meignan** Professeur de médecine nucléaire et responsable RMN au CHU Henri Mondor (Paris)

**Contacts**
lubrano.v@chu-toulouse.fr
minville.v@ chu-toulouse.fr

## « Un logiciel simple et pédagogique »

***Pr Michel Meignan, Hôpital Henri Mondor (Assistance Publique-Hôpitaux de Paris),***

**Dans quel cadre avez-vous été amené à utiliser Easy RMM ** ?**

**Nous avons mis en place une coopération scientifique avec le *Serious Game Research Network* qui a donné au projet RMM une orientation recherche qui a facilité l'adhésion de la communauté médicale.**

**Quel bilan faites-vous de votre année d'expérimentation ?**

**C'est un logiciel simple et pédagogique. Il permet non seulement de réaliser la revue de morbidité et de mortalité, mais aussi d'assurer par sa structuration, une formation des participants. Cet outil a permis d'harmoniser les pratiques et les présentations des RMM au sein du groupe. Nous avons atteint l'objectif qui était d'au moins une RMM par service à risque. Aujourd'hui, 26 services font des RMM et 38 pilotes ont été formés. Bien évidemment le point le plus important pour nous est d'avoir obtenu en octobre 2014 un classement en A sur ce critère par les experts de la Haute autorité de santé (HAS).**

** http://easyrmm.univ-jfc.fr/

# Le génie de la mécanique est dans la boîte

Conçu pour enseigner des savoir-faire de génie mécanique, Mecagenius améliore aussi l'image des filières techniques françaises, auprès des jeunes comme des industriels.

Comment l'industrie française peut-elle rester compétitive vis-à-vis des produits concurrents, parfois conçus et fabriqués dans des contextes économiques plus favorables que le nôtre ? Seule l'innovation permet de proposer sur le marché des produits attrayants en termes de performance et acceptables en termes de coût.

## Savoir-faire

Il n'y a pas d'innovation sans innovateur ; il faut les former et fournir les moyens intellectuels et les savoir-faire nécessaires. Il paraît donc essentiel d'investir dans la capitalisation des compétences et des savoir-faire, la formation des ingénieurs, le transfert de technologie. Les industries de l'aéronautique l'ont compris : dans une étude publiée en décembre 2010 (INSEE-Enquête aéronautique-espace 2010), plus de 35 % d'entre elles plaçaient la recherche de compétence et la formation dans leurs priorités stratégiques.

## Atelier de fabrication virtuel

Dans le domaine du génie mécanique, les machines-outils sont devenues de plus en plus complexes, afin d'augmenter la qualité de fabrication tout en diminuant le temps d'usinage. Leur utilisation requiert du personnel formé. C'est dans ce but qu'a été a développé Mecagenius, fruit d'une collaboration entre les équipes de recherche du Centre Universitaire Jean-Fraçois Champollion, de l'Université Toulouse 1 Capitole, l'Université Toulouse Jean Jaurès et l'Université Toulouse III — Paul Sabatier. Mecagenius est un *learning game* destiné aux étudiants en formation initiale et formation continue de niveau Bac-3 à Bac + 4 ainsi qu'aux formateurs en génie mécanique. Il offre la possibilité de découvrir un atelier de fabrication, d'apprendre à usiner en utilisant des machines-outils à commande numérique, et d'optimiser une production. ■

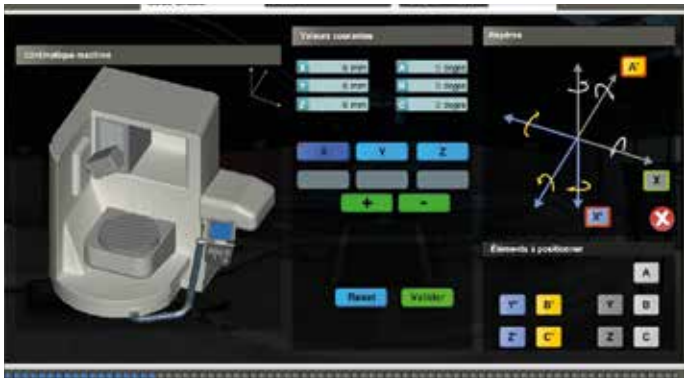
**Michel Galaup,** enseignant à l'ESPE et chercheur associé au laboratoire EFTS*, **Cathy Pons-Lelardeux,** ingénieure de recherche CUFR Champollion, **Xavier Aubard,** directeur délégué de l'IRT Saint-Exupéry et **Pierre Lagarrigue,** professeur au CUFR Champollion et membre de l'Institut Clément Ader

**Contact**
pierre.lagarrigue@univ-jfc.f

*Sentiment d'apprentissage (étude sociologique, CERTOP — CNRS / UT2J / Université Toulouse III — Paul Sabatier)*

- *Intégration facile dans la pratique des enseignants*
- *Remarquable flexibilité de l'outil*
- *Développe le travail collaboratif*
- *Outil adapté pour l'égalité des chances*
- *...*

*(Laboratoire EFTS — UT2J/ENFA)*



*Identification des axes d'une machine-outil dans Mecagenius http://mecagenius.univ-jfc.fr/ © KTM advance et SGRN*

## « Un énorme potentiel d'attractivité »

**L'Institut de Recherche Technologique (IRT) Antoine de St-Exupéry est une fondation de coopération scientifique pour l'aéronautique, l'espace et les systèmes embarqués. Lors du forum national des IRT de 2014 qui a réunit les huit IRT français, le *learning game* Mecagenius a été expérimenté pour tester l'attractivité de ces outils auprès des étudiants en école d'ingénieur et à l'université. Trois questions au directeur délégué, Xavier Aubard.**

**Les *serious games* peuvent-ils améliorer la compétitivité de l'industrie ?**
**Maintenir nos techniciens et nos ingénieurs à la pointe des compétences techniques est une obligation pour la compétitivité de nos entreprises. Les *learning games* offrent probablement une des meilleures façons de transmettre les savoir-faire techniques qui s'acquièrent essentiellement avec la pratique.**

**Nos formations techniques ne seraient-elles pas suffisantes ?**
**Si, nos formations techniques sont généralement d'excellente qualité. Mais il faut bien avoir en tête que les filières techniques souffrent d'un réel déficit d'image de marque et peinent à embaucher faute de candidats. Il faut faire découvrir aux jeunes les hautes technologies utilisées dans les carrières scientifiques ; nous devons leur donner envie de venir vers nos métiers. Les *serious games* ont un énorme potentiel en termes d'informations, d'attractivité et de formation.**

**Les *serious games* français ont-ils un impact à l'étranger ?**
**Je voudrais insister sur l'importance de faire connaître dans le monde entier les produits issus des innovations de notre recherche et développées par nos PME. Leur existence passe par une reconnaissance internationale de leurs compétences et dans ce domaine également, le potentiel des *serious games* me paraît être un excellent vecteur.**

*Laboratoire Education, Formation, Travail, Savoirs (UT2J, ENFA Toulouse — Auzeville)

# Un scénario nourri par la modélisation informatique

Pour construire un scénario de *serious games*, qu'il soit imaginaire ou très réaliste, les concepteurs peuvent s'aider de modèles informatiques, capables de décomposer l'activité à enseigner en éléments utilisables par les *game designers*.

*Parcours pédagogique pour le niveau expert de Mecagenius. Il permet à l'enseignant de visualiser les prérequis pour chaque activité, les différents types de jeu par niveau et par salle, les récompenses obtenues pour un jeu gagné. © SGRN*

Un scénario de *learning game* revêt une multitude de formes, et sa conception met en jeu des compétences variées. Il s'appuie sur un modèle qui mélange les données relatives aux mécaniques ludiques mais aussi des données spécifiques à la discipline enseignée. Dans un environnement de jeu métaphorique, la créativité du game designer et des concepteurs seront autant d'atouts pour que les objectifs pédagogiques soient rendus de manière pertinente. Au contraire, dans un environnement non-métaphorique, la transposition d'une activité professionnelle dans l'univers du jeu laisse peu de place à l'imaginaire. Par exemple, opérer un extra-terrestre à bord d'un vaisseau spatial n'a pas de sens si l'on souhaite former les professionnels du bloc parce que les repères du contexte professionnel ont disparu.
Numériser une activité professionnelle fait appel à des spécialistes de multiples disciplines, de la collecte des données à leur exploitation.

## Déconstruction

La collecte s'effectue nécessairement à partir d'observations de terrain et d'entretiens. Elle permet de rendre explicites les règles, les protocoles et les savoir-faire qui concourent à la réalisation des tâches professionnelles ciblées. Ce faisant, elle déconstruit l'activité en un corpus suffisamment expressif d'actions élémentaires en lien avec des éléments d'information fournis par le professionnel (le syllabus). Cette étape peut bénéficier des méthodologies développées dans le domaine de la modélisation des processus (BPMN, réseaux de Petri, machines à états), avec notamment l'utilisation d'ontologies, système de représentation des connaissances, pour décrire les connaissances requises. Ces méthodes pensées initialement pour l'urbanisation des systèmes d'information et la gestion des risques trouvent dans la conception de scenarii un autre champ d'application.
Que cela soit pour scénariser une consultation médicale, l'activité de fabrication dans un atelier de génie mécanique, une opération au bloc de chirurgie, le diagnostic automobile ou la mise en culture de cellules, il est nécessaire de savoir modéliser l'activité de façon à ce qu'elle puisse être utilisée par un programme informatique apte à proposer un déroulement du scénario en fonction des actions et du profil du joueur.

## Standards du jeu vidéo

L'exploitation des données doit permettre aux étudiants de « rejouer » l'activité numérisée tout en garantissant le respect des standards du jeu vidéo en termes de liberté d'action et d'interactivité, de *feedback* (score, niveau d'expérience, inventaire...). La problématique consiste en somme à faire jouer à une troupe d'acteurs une pièce dont ils ne connaissent rien du script, sinon qu'il s'inspire de l'activité professionnelle à laquelle ils se forment. Pour cela, le jeu a recours à deux astuces : la première consiste à faire intervenir un tuteur, qui peut être intégré à l'environnement ou pas, et qui va guider les acteurs le long du scénario. La seconde consiste à fournir un feedback à l'issue de la session de jeu.

## *Feedback*

Les données modélisées s'appuient sur une succession d'actions correspondant à la stratégie acceptable et/ou optimale mais aussi à un panel d'erreurs potentielles sélectionnées sur critères. Le feedback s'appuie donc sur ce modèle pour proposer des mesures d'amélioration qui pourront être mise en œuvre lors du « rejeu ».
Dans l'établissement de scenarii complexes, il arrive que l'univers des possibles soit trop vaste pour qu'il soit envisageable de les spécifier « manuellement ». Recourir à de telles méthodes peut s'avérer efficace autant pour la description de l'activité que pour celle des objectifs attendus.
Lorsque l'on modélise une activité pédagogique, elle s'inscrit dans une progression. Il est donc essentiel de tenir compte de la possibilité de graduer le niveau de difficulté pour qu'elle puisse s'adapter à différents usages. L'idée consiste à réduire la complexité en la graduant. Ainsi, le formateur dispose d'un large spectre couvrant différents niveaux de formation. ■

**Cathy Pons-Lelardeux,** ingénieure de recherche au CUFR Champollion, **David Panzoli,** maître de conférences au CUFR Champollion, **Jean-Yves Plantec,** maître de conférences à l'INSA de Toulouse et **Nicolas Singer,** maîtres de conférences à l'école d'ingénieur ISIS de Castres.

**Contacts**
catherine.lelardeux@univ-jfc.fr
david.panzoli@univ-jfc.fr

# *Serious games*, mode d'emploi

Ils se servirent du jeu pour enseigner des savoirs aux élèves !

Le *serious game* est un environnement dans lequel les élèves peuvent apprendre. Les recherches en didactique développées au sein du laboratoire EFTS « Éducation - Formation - Travail - Savoir » traitent de problématiques autour des dynamiques d'apprentissage. Elles consistent à documenter, au regard des savoirs ciblés, les usages en classe des *serious games* du point de vue des élèves et du professeur. Nous étudions les processus d'apprentissage mis en œuvre à partir d'une analyse *in situ* en contexte d'enseignement.

## Les *serious games* sont intéressant pour diversifier l'apprentissage. Encore faut-il les exploiter à bon escient.

Étudier et rendre compte de la manière dont les *serious games* sont utilisés dans l'enseignement au regard des savoirs visés, évaluer leur intérêt réel, améliorer leur conception, créer des dispositifs de formation adaptés à leurs usages : tels sont nos objectifs de recherche. Les chercheurs observent par exemple quels savoirs les élèves acquièrent lorsqu'ils utilisent des *serious games* en classe. Ils analysent également comment les enseignants les utilisent en fonction de compétences et savoirs visés. Nos résultats mettent en lumière, par exemple, des formes contrastées d'intégration des *serious games*. Parfois les usages qu'en font les enseignants vont à l'encontre de la conception initiale des *serious games* qui prévoit par exemple que les élèves puissent effectuer des essais-erreurs, tâtonner ou explorer diverses possibilités de réponses aux situations proposées par les *serious games*. Se pose la question de la formation pour des usages adaptés et pertinents pour les élèves. ■

**Chantal Amade-Escot,** enseignante à l'ESPE et professeure au laboratoire EFTS et **Michel Galaup,** enseignant à l'ESPE et chercheur associé au laboratoire EFTS.

**Contact**
michel.galaup@univ-tlse2.fr

# Jouer avec le savoir

Victor Potier, doctorant de sociologie au CUFR Champollion co-financé par la Région Midi-Pyrénées, est interviewé par sa directrice de thèse Michèle Lalanne. Il s'intéresse à l'innovation et à la mise en marché des jeux sérieux d'apprentissage. Il réalise son travail de thèse au sein du laboratoire CERTOP et de l'équipe *Serious Game Research Lab* sous la direction de Michèle Lalanne et Franck Cochoy, professeurs de sociologie.

**Michèle Lalanne,** professeur au CUFR Champollion, **Franck Cochoy,** professeur à l'UT2J et **Victor Potier,** doctorant, tous membres du CERTOP*.

**Contact**
michele.lalanne@univ-jfc.fr

## Quel est l'intérêt d'une approche sociologique de cette innovation ?

La sociologie traite de l'innovation en soumettant au chercheur deux questions principales : celle de la naissance et de la diffusion de l'innovation, puis celle de son impact sur les pratiques des usagers. Dans le cas du jeu sérieux, on remarque d'abord une très forte production de discours marqués par des construits discursifs et idéologiques sur les bienfaits de la mobilisation du jeu et de la technologie en milieu éducatif.

Il s'agit donc d'interroger ces discours pour comprendre les mécanismes de diffusion et de légitimation du jeu sérieux et les usages que les enseignants et les apprenants font du jeu sérieux Mecagenius, dans le cadre d'une thèse co-financée par la région Midi-Pyrénées.

## Comment mettre en évidence les enjeux sociaux de ces usages ?

Il s'agit de les contextualiser à deux échelles. L'approche sociologique fournit des outils pertinents pour relier la réalité des pratiques en classe, qui se tissent autour du jeu sérieux, à celle plus large des modes de mise en marché des savoirs. En tant qu'innovation, le jeu sérieux est bel et bien un produit qui doit rencontrer une demande, à la fois de la part des personnes qui vont le manipuler, mais également de la part des institutions éducatives qui vont valoriser son utilisation sur le terrain. On peut donc mettre en évidence ces enjeux sociaux de l'évolution des pratiques en classe jusqu'aux promesses d'une nouvelle pédagogie.

## Qu'est-ce qui se passe quand on joue ?

En jouant, le joueur fait d'abord l'expérience d'un système de règles, d'un environnement graphique et scénaristique. Autrement dit, le jeu lui donne le droit de perdre, et lui signifie que ce n'est pas pour de vrai. Le jeu sérieux propose donc à l'apprenant de faire une expérience quasi sensitive du savoir en mobilisant des dimensions cognitives et affectuelles. Interroger la manipulation du jeu invite à problématiser la transmission du savoir. Car la question qui se pose, c'est : peut-on jouer avec le savoir ? ■

*CERTOP (Université Toulouse III - Paul Sabatier / UT2J / CNRS)

# Les simulateurs professionnels entrent en lice

L'intérêt des environnements immersifs pour développer les capacités professionnelles et l'interaction entre collègues sont reconnus depuis longtemps. Mais des produits grand public sont en train de démocratiser leur usage.

Médecine, aéronautique, risque industriel... De plus en plus de professionnels se forment avec des *serious games*. Ils privilégient les environnements immersifs, tels les simulateurs. Ces jeux reconstituent en effet l'environnement de travail de manière réaliste. Ce qu'ils enseignent est alors plus facilement transposé dans la vie réelle. En immergeant plusieurs apprenants dans un environnement partagé, ils permettent en plus de travailler les compétences interpersonnelles. Jusqu'à récemment, les dispositifs de réalité virtuelle étaient réservés à une élite, mais l'arrivée sur le marché de produits grand public va accélérer leur dissémination.

## Concentration intense

Cependant, encore peu de données accréditent la corrélation entre l'immersion et l'apprentissage. On suppose que les compétences acquises dans le jeu sont d'autant plus facilement assimilées et transposées dans la réalité que le jeu s'appuie sur le contexte professionnel quotidien de référence de l'apprenant. Les travaux récents montrent que les *learning games* donnent effectivement une impression d'immersion, la sensation d'avoir quitté la réalité et d'être physiquement présent dans l'environnement virtuel. Ils mesurent le *flow* un terme employé dans les jeux vidéo pour exprimer un état psychologique de concentration intense où la conscience s'efface au profit de la seule activité. Ils font l'hypothèse d'un impact positif sur l'engagement et la motivation des *digital natives*, ces générations nées avec ou après la révolution numérique, ce qui permettrait de rendre l'apprentissage transparent, presque inconscient.

## Mondes virtuels

Depuis de nombreuses années, les chercheurs de l'IRIT, en particulier l'équipe VORTEX, ont développé une grande expertise dans les domaines de la création et du peuplement des mondes virtuels immersifs. Une immersion « réussie » offre aux apprenants un réalisme visuel de la scène mais aussi du comportement des personnages qui la peuplent, et des interactions entre l'apprenant et l'environnement virtuel. Elle incite également l'apprenant à restituer son activité, permettant son évaluation. Cependant, il reste difficile d'effacer le contexte d'apprentissage. Une étude récente sur des joueurs de Mecagenius montre leur attachement au contexte d'apprentissage, leur perception du jeu comme une autre forme d'apprentissage, et leur motivation comme intrinsèquement liée à la formation. ■

*Les dispositifs de réalité virtuelle comme l'Oculus Rift accroissent l'immersion de l'apprenant dans le jeu. © SGRN*

**Yves Duthen,** professeur UT1,
**Jean-Pierre Jessel,** professeur UT3,
**David Panzoli,** maître de conférences CUJF Champollion, **Stéphane Sanchez,** maître de conférences UT1 et **Cédric Sanza,** maître de conférences IUT Tarbes, tous membres de l'IRIT*

**Contacts**
jean-pierre.jessel@irit.fr et yves.duthen@univ-tlse1.fr

## Intelligence Artificielle

**Dans un jeu sérieux immersif collaboratif, les personnages virtuels, pilotés par les apprenants, évoluent vers un objectif commun dans un environnement scénarisé. Le degré de complexité des tâches de chaque acteur peut varier et le rôle de chacun est plus ou moins important. Il semble parfois peu pertinent de mobiliser un joueur pour un rôle secondaire. Celui-ci peut être rempli par des personnages virtuels (personnages non-joueurs ou PNJ) dotés d'une capacité de raisonnement (intelligence artificielle). Ceux-ci permettent en outre de remplacer des joueurs absents dont le rôle dans le jeu est nécessaire.**

**L'intelligence des personnages humanoïdes est un thème de recherche largement étudié dans le domaine du jeu vidéo. L'une des difficultés consiste à améliorer l'interaction dynamique avec un ou plusieurs joueurs humains. Plus précisément, les PNJ doivent être dotés de capacités d'auto-adaptation face à la complexité d'un environnement multi-joueurs. Dans le cas de 3D VOR, il a été decidé d'opter pour des décisions optimales dans un environnement discret fini, en se fiant à un arbre de décision généré au fil de simulations stochastiques.**

*IRIT (Université Toulouse III – Paul sabatier/CNRS/INPT/ Université Toulouse 1 Capitole/Université Toulouse Jean Jaurès)

# Dossier Spécial Patrimoine

*Théodolite de 1855, construit par Secretan. Appareil de mesure de triangulation, utilisé en topographie (www.fragmentsdescience.fr)*
*© Véronique Prévost*

# Passé, présent, futur : les conjugaisons du patrimoine

**Active au présent, tournée vers l'avenir, l'Université Toulouse III - Paul Sabatier est aussi fortement ancrée dans le passé. De son histoire, elle a hérité d'un patrimoine scientifique important, essentiellement rassemblé au cours du XIX^e^ et XX^e^ siècle, par les facultés de santé et de sciences.**

***Ce dossier a été réalisé dans le cadre du Magazine scientifique Paul Sabatier - n° 35***
***Ont participé à sa réalisation :*** *N. Séjalon-Delmas, maître de conférences, V. Trichon, maître de conférences et S. Mastrorillo, maître de conférences - Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement (EcoLab*)*
*P. Fraysse, maître de conférences - Laboratoire d'Etudes et de recherches Appliquées en Sciences Sociales (LERASS**)*
*M. Bilotte, professeur émérite, G. Dera, maître de conferences et D. Béziat, professeur - Laboratoire Géosciences Environment Toulouse (GET***)*
*D. Mazau, professeur - Service Commun d'Etudes et Conservation des Collections Scientifiques*
*J. Moscovici, professeur - Laboratoire d'anatomie de la Faculté de médecine Rangueil*
*C. De Matos, maître de conférences - Laboratoire Physique de l'Homme Appliquée à Son Environnement (PHASE****)*
*V. Prévost, ingénieure d'étude au Pôle culture*
*Remerciements à la Direction de la communication et de la culture et à Katia Fajerwerg, chargée de mission Culture et diffusion des savoirs*

**EcoLab (CNRS/INPT/Université Toulouse III - Paul Sabatier)*
***LERASS (Université Toulouse III - Paul Sabatier/UT2J/Université Paul-Valéry Montpellier 3/Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées)*
****GET (CNRS/IRD/Université Toulouse III - Paul Sabatier)*
*****PHASE (Université Toulouse III - Paul Sabatier)*

Pendant des années, des savants, en paléontologie, en géologie et en botanique, ont rassemblé patiemment des témoins de leur activité. La nature des objets, des instruments, des spécimens rassemblés témoigne de l'ancienneté des disciplines enseignées dans les facultés de Toulouse. C'est ainsi que se sont formées peu à peu des collections devenues vite importantes, en quantité comme en qualité. Ces collections, autrefois conservées dans l'ancienne faculté des sciences au centre-ville de Toulouse, sont maintenant entreposées sur le campus de Rangueil, et attendent celles ou ceux qui les feront enfin revivre.

## Sauvées de la destruction

Sauvées de la destruction ou de la dispersion, ces collections sont aujourd'hui gérées par le Service Commun d'Étude et de Conservation des Collections Scientifiques, au même titre que le jardin botanique Henri Gaussen, jouxtant le Muséum d'histoire naturelle de Toulouse, et que l'arborétum de Jouéou. La volonté de Bertrand Monthubert, président de l'université, et de son équipe, aidés dans cette démarche par quelques enseignants-chercheurs, chercheurs et personnels administratifs est de replacer le patrimoine scientifique et universitaire mais aussi immatériel au cœur des préoccupations de l'université.

## Des collections diverses et rares

Pour en faire un petit inventaire, soulignons que les collections de l'université ne sont pas que des collections naturalistes. Il existe en effet un musée des instruments de médecine du CHU, créé dans les années 2000, à l'Hôtel-Dieu de Toulouse. La faculté d'odontologie a, de son côté, mis en place un modeste musée dans ses locaux et le patrimoine de la faculté de pharmacie a été déposé pour partie au Muséum d'histoire naturelle.

Peu à peu, ces objets hérités du passé, divers et quelquefois rares, ont été pris en compte et organisés pour être mieux mis en valeur. C'est le cas des instruments de physique ou encore des collections d'audiovisuel et d'informatique, beaucoup plus récentes, inventoriées avec l'aide de la Mission patrimoine scientifique et technique contemporain de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées.

Ce bref panorama ne serait pas complet sans mentionner le patrimoine artistique (représenté notamment par les œuvres disséminées sur le campus issues du « 1 % artistique »* et datant de la construction du campus), ou, enfin la galerie de portraits des doyens de médecine.

## Une chaîne patrimoniale

C'est l'ensemble de ces objets, instruments, spécimens, procédures de recherche et d'enseignement, qui forment donc le patrimoine scientifique et universitaire. La recherche des conditions et du contexte de constitution de ces collections et le souci actuel de valorisation et de diffusion du patrimoine scientifique viennent compléter la « chaîne patrimoniale » de notre université.

Malgré les difficultés financières actuelles que connaît l'université, malgré le manque de moyens humains pour la gestion et l'inventaire, ce patrimoine essaie de vivre ou de revivre. Il le fait d'abord dans un contexte local, grâce à l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées.

Ce patrimoine local s'inscrit également dans un contexte plus large, grâce à la constitution d'un réseau national des universités, mais aussi dans un réseau européen, émanation de l'UNESCO, auquel adhère l'Université Toulouse III – Paul Sabatier.

À l'heure où la « muséonomie » est dans l'air du temps, il est nécessaire de rappeler ici l'existence de ce patrimoine scientifique exceptionnel, capable de susciter de nouveaux projets de recherche ou d'enseignement. Mais pas seulement : ce patrimoine est aussi un témoin important et vivant de notre passé scientifique que n'importe quel amateur, averti ou pas, devrait pouvoir un jour découvrir et apprécier. ■

* Un arrêté daté de juillet 1951 stipule que 1 % des sommes consacrées par l'État pour chaque construction d'établissement scolaire ou universitaire doit financer la réalisation d'une œuvre d'art contemporaine intégrée au projet architectural

# De l'importance de disposer d'un herbier bien étiqueté

Des échantillons d'herbiers de lichens et de mousses de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier datés de 1870 à 1998 ont été analysés et comparés aux échantillons actuels pour retracer l'historique de la contamination atmosphérique.

Pour évaluer l'impact des activités humaines sur l'atmosphère depuis le XIXe siècle, le Laboratoire écologie fonctionnelle et environnement (EcoLab) s'est appuyé sur des herbiers conservés par l'université. Les mousses et les lichens enregistrent la pollution atmosphérique. La pollution passée peut donc être étudiée en dosant, par exemple, des métaux et de l'azote, dans les herbiers, à la condition que les échantillons aient été conservés sans traitement chimique.

Les étiquettes d'herbier permettent également de retrouver les localités de collecte. De 2010 à 2013, en prélevant les mêmes espèces aux mêmes endroits que dans les deux siècles passés, les membres d'EcoLab ont mis en évidence l'évolution de la pollution atmosphérique avec une diminution de l'arsenic et du plomb au cours du temps, et une augmentation d'autres éléments tels que l'antimoine, à partir des années 1960.

## Herbier de la Réunion

Ils ont également tiré parti de l'herbier de la Réunion. Cet herbier fut constitué entre 1937 et 1946 par Pierre Rivals et Max Fournier, qui le déposèrent à la faculté des sciences. Son intérêt tient notamment à la qualité des informations consignées sur les étiquettes d'herbier qui permettent de l'exploiter aujourd'hui. Les lieux de récoltes indiqués par les auteurs permettent par exemple d'étudier l'évolution des distributions géographiques des espèces et d'envisager de retrouver sur le terrain des plantes aujourd'hui menacées ou considérées disparues.

L'étude future de la densité stomatique de certains de ces échantillons pourra témoigner de la concentration en $CO_2$ atmosphérique sur l'île de La Réunion en ce milieu du XXe siècle. ■

*Ochrosia borbonica*
*© Paul Seimandi*

## Les champignons du futur

**Le jardin botanique Henri Gaussen est en train de constituer une banque de Gloméromycètes de la région toulousaine.**

Les Gloméromycètes sont des champignons mycorhiziens. L'université est en train de constituer une banque de souche de ces champignons. L'objectif est de collecter des souches dans des zones peu anthropisées, de les caractériser et d'étudier leur efficacité symbiotique vis-à-vis de la nutrition azotée et phosphatée de la plante, dans le cadre d'une agriculture bas intrants, notamment azotés. En effet, dans le cadre d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement, ce ne sont plus seulement les engrais phosphatés qui doivent être diminués mais également les engrais azotés. Les souches sélectionnées seront entretenues au jardin botanique pour leur commercialisation par une entreprise toulousaine.

# 300 millions d'années d'histoire des Pyrénées

Les fossiles de la collection pyrénéenne témoignent de formes de vie variées qui se sont épanouies dans la région.

Débutée au début du XIXe siècle, la collection générale de paléontologie de l'université s'est enrichie de fossiles pyrénéens au début du XXe siècle. La collection pyrénéenne ainsi constituée renferme les objets qui témoignent de l'histoire géologique des Pyrénées pendant plus de 300 millions d'années. Ces collections qui proviennent de gisements pour l'essentiel perdus sont uniques par leur richesse et par l'abondance des pièces. Parmi le matériel conservé dans ces collections, les « types » et « figurés » ont un statut particulier : celui de pièces de référence, en particulier s'il s'agit de « types » (spécimens utilisés pour décrire une nouvelle espèce). Plusieurs centaines d'objets répondent à ce critère. Les « figurés » (spécimens figurés dans une publication), encore plus nombreux, sont les preuves palpables de l'existence dans les Pyrénées d'un taxon défini hors de ce domaine régional.

Dans les 5 dernières années plus d'une centaine de pièces répondant à l'un de ces critères ont été décrits dans le matériel toulousain. Riche de son abondance, de sa valeur scientifique et de l'histoire des générations de géologues toulousains qu'elle véhicule, cette collection paléontologique mérite d'être mieux connue. ■

# Les richesses minérales de la Montagne Noire

La pointe sud-ouest du Massif Central fournit la matière d'une collection minéralogique unique.

Les échantillons de la collection minéralogique de l'Université Toulouse III – Paul Sabatier sont représentatifs des mines de la région ayant été exploitées au cours des deux siècles précédents. Ces mines, actuellement fermées et inaccessibles, ont fourni de précieux indicateurs sur les gisements métallifères et les paléoenvironnements. La collection toulousaine abrite en outre des minéraux de référence (holotypes) très précieux.

Plusieurs études concernant la pollution engendrée par les déblais des mines abandonnées sont menées actuellement à l'université. Elles nécessitent l'utilisation d'échantillons provenant de cette collection. Ces échantillons appartiennent à l'inventaire minéralogique de la région qui a fait l'objet, dans les années 1980, de plusieurs publications associant le Bureau des ressources géologiques et minières (BRGM) et des chercheurs de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier. Dans le cadre de la réévaluation du potentiel français en ressources minérales, une cible retenue par le BRGM a été celle des indices des zones géographiques du Tarn contenant du tungstène. De nouvelles études vont reprendre sur ces minéralisations et la collection pourra servir de support car elle renferme des échantillons représentatifs des divers indices minéralisés en tungstène de la région de la Montagne Noire. ■

*Échantillon de Wolframite sur une gangue de quartz (Montredon, Tarn)*
*© Didier Béziat*

*Armoire aux oiseaux de la salle de travaux pratiques de biologie animale à l'université. © Narcisse Giani*

*Cire anatomique de la maison Tramond (préparations pour facultés de médecine), datant du début de XXe siècle. © Jacques Moscovici*

# Le patrimoine : un outil de formation, côté cour, côté jardin

Les anciennes collections de botanique, de zoologie et de médecine constituent des supports pour l'enseignement, qu'il soit destiné aux étudiants ou au grand public.

Grâce à sa position contigüe au Muséum, le jardin botanique Henri Gaussen reçoit 200 000 visiteurs par an dont 5 % de visiteurs académiques.

Les enseignements dispensés au jardin botanique concernent aussi bien la formation initiale que continue, en licence biologie et environnement, en licence professionnelle biotechnologies végétales, en master ou encore en pharmacie.

## Zoologie

Sur le campus de l'université, la collection de zoologie a été constituée peu à peu dès la réouverture de la faculté des sciences, sous l'Empire, par les titulaires des chaires et le personnel attaché aux différents laboratoires (préparateur, chef de travaux, maître de conférences) à partir de leurs récoltes personnelles, de dons et d'achats.

À la fin du XIXe siècle elle comportait déjà plusieurs milliers d'échantillons. Bon nombre d'entre eux ont disparu. Les éléments les plus anciens de cette collection sont devenus obsolètes et ne sont plus employés. Mais la collection de zoologie est un outil pédagogique encore largement utilisé aujourd'hui dans les enseignements de zoologie, d'entomologie, pour la préparation aux concours de l'agrégation dans les différentes matières (systématique, anatomie comparée, biologie évolutive, etc.).

## Cires et plâtres

Enfin, à la faculté de médecine, on trouve un musée dont l'origine semble remonter à la fin du XIXe siècle. Il contient diverses pièces acquises au fil du temps (cires de Tramond, des plâtres de Talrich, des modèles de Ziegler, des reproductions d'Auzoux, etc.) et de nombreuses préparations anatomiques réalisées par les enseignants du laboratoire.

Ces collections ont avant tout été créées dans un but pédagogique à l'époque ou la dissection était le moyen principal d'appréhender l'anatomie du corps humain et de son développement. Outre la rénovation des locaux de stockage pour une meilleure visibilité, la réalisation d'un inventaire, la mise en valeur des pièces et une présentation de ce patrimoine sur un site internet sont en projet. ■

*Collection ethnobotanique © Dominique Mazau*

# Le patrimoine scientifique se dévoile

La mission Patrimoine culturel et scientifique coordonne plusieurs initiatives pour donner accès à ces collections étonnantes.

En juin 2014 était créée la mission Patrimoine culturel et scientifique de l'université. Son rôle : coordonner les actions assurant une meilleure visibilité du patrimoine scientifique de l'université, et ainsi susciter la curiosité et l'intérêt d'un large public. Une première brique de cet édifice a été posée avec l'actualisation et la refonte du site internet actuel en lien avec celui de l'Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées.

## QR codes

Le pôle culture de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier a par ailleurs mis en place le projet Fragments de Science, un espace muséal dédié au patrimoine. La version « réelle » de ce musée se visite à la bibliothèque universitaire des sciences, mais il en existe une version virtuelle sur internet. La valorisation des éléments de collections du patrimoine est en constante évolution, comme en témoignent la généralisation des QR codes (codes-barres à deux dimensions) dans les vitrines. Ils permettent aux visiteurs d'accéder aux fiches de présentation détaillées depuis un téléphone mobile et donc de sensibiliser plus facilement les étudiants à ce champ culturel de leur université. Initialement dédié aux instruments scientifiques anciens, ce projet s'est étendu aux collections de paléontologie et aux herbiers. En 2015, ce sera le tour de la minéralogie et de nouveaux lieux d'exposition seront envisagés.

## Visites guidées

Dans le cadre des Journées européennes du patrimoine, le pôle culture de l'Université Toulouse III — Paul Sabatier organise chaque année la visite des œuvres d'art abritées par le campus. Un musée virtuel (UPSART) permet d'accéder à ces œuvres, toute l'année, depuis son ordinateur et de les géolocaliser (http://www.univ-tlse3.fr/upsart). Une exposition de planches pédagogiques des siècles derniers, actuellement entreposées sur le campus Rangueil, devrait être montée pour les prochaines Journées du patrimoine, en septembre 2015, à la bibliothèque universitaire des sciences. ■

# Plaisir de jouer, plaisir d'apprendre?

**Franck Amadieu,** maître de conférences UT2J et **André Tricot,** professeur ESPE, tous deux au Laboratoire CLLE* et **Michel Lavigne,** maître de conférences IUT de Castres au LARA**

L'engouement pour les *serious games* part du postulat que l'on apprend mieux en s'amusant.
Or ce n'est pas évident...

Les humains, comme d'autres mammifères sociaux, jouent beaucoup, notamment pendant leur enfance. Ces jeux constituent un moteur très important des apprentissages. Le psychologue évolutionniste américain David Geary a émis l'hypothèse selon laquelle notre espèce, comme d'autres, a évolué pour que cette activité soit motivante, plaisante, au même titre que d'autres activités (explorer son environnement, interagir avec des pairs). Les connaissances acquises lors du jeu sont qualifiées par Geary de « primaires » : il s'agit de connaissances apparues précocement au cours de l'évolution d'*Homo sapiens*, comme le langage oral, la reconnaissance des visages ou la connaissance « naïve » de la flore de son environnement proche. Cet apprentissage primaire permet de s'adapter à son environnement quotidien, qu'il soit physique, vivant, linguistique, social ou culturel.

## Grandir ne suffit plus

L'école existe dans certaines sociétés car des connaissances utiles pour y vivre ne s'acquièrent pas toutes de façon adaptative. C'est le cas en particulier des connaissances « secondaires », apparues récemment dans l'évolution d'*Homo sapiens*: le langage écrit ou les mathématiques, les connaissances scientifiques ou philosophiques. Grandir ne suffit plus. Depuis de longs siècles, les personnes chargées de transmettre ces connaissances secondaires, les enseignants, se demandent si le jeu, tellement efficace pour apprendre des connaissances primaires, pourrait aussi servir pour les connaissances secondaires. L'idée est simple : profiter du caractère motivant, plaisant du jeu, pour faire apprendre ce que l'on souhaite.

## Les *serious games* efficaces ne sont pas forcément les plus plaisants

Cette idée a été exploitée de trois manières. La première consiste à utiliser de vrais jeux pour développer des compétences utilisables dans un autre contexte. C'est le cas par exemple du jeu d'échecs, qui permettrait d'acquérir des capacités de raisonnement, de logique et d'anticipation. Mais pour l'instant, aucune recherche à notre connaissance, n'a réussi à montrer ce type de bénéfice.
La seconde manière consiste à concevoir des jeux pédagogiques comme les *serious games* pour la formation. En cumulant jeu et situation d'enseignement, cette voie peut donner des résultats positifs. Mais les méta-analyses de la littérature empirique montrent qu'ils sont rares.

**Contact**
andre.tricot@univ-tlse2.fr
et michel.lavigne@iut-tlse3.fr

Peut-être parce qu'il est particulièrement difficile de concevoir ce double outil? Plus surprenant, ces études montrent qu'en moyenne les apprenants du groupe expérimental (*serious game*) ne sont pas plus motivés que ceux du groupe témoin (sans *serious game*).
La troisième manière d'utiliser la motivation ludique, c'est la conception d'environnements d'apprentissage simplement amusants, sans véritable jeu. Ces environnements sont beaucoup plus faciles à concevoir, mais les résultats positifs sont encore rares. Certaines études montrent notamment que les étudiants ne sont pas forcément plus motivés par ces environnements. La motivation liée à une situation simplement amusante serait bien trop superficielle. L'efficacité reste probablement liée à un facteur bien plus important : la qualité de la pédagogie. C'est dans ce contexte que les travaux menés par les chercheurs du Serious Game Research Network prennent tout leur sens : comment développer des approches à la fois pédagogiques et attrayantes et comment quantifier leur apport ? ■

## Pour que le jeu en vaille la chandelle

**Après 3 ans d'enquêtes ethnométhodologiques nous constatons que le plaisir ludique dans les *serious games* n'est pas souvent au rendez-vous. Les finalités « sérieuses » des programmes y font souvent obstacle. Bien souvent les *serious games* ne sont pas considérés comme des jeux par leurs utilisateurs, ou alors ils sont perçus comme des jeux faiblement motivants. La volonté de s'assurer que l'apprenant intègre la totalité du message « sérieux » peut conduire les concepteurs à des scénarisations contraintes qui limitent les possibilités de choix et la marge d'incertitude nécessaire à l'exercice du jeu.**

**Des budgets de production insuffisants aboutissent à des produits qui ne sont que de très pâles imitations des jeux de divertissement qu'affectionnent les joueurs.**

**Les échecs constatés permettent d'affiner la connaissance des enjeux ludiques des jeux numériques : en améliorant la connaissance des déterminants ludiques, en les catégorisant, en typologisant les profils des joueurs, nous espérons modéliser des procédés créatifs plus adaptés.**

*CLLE (CNRS/UT2J/EPHE/Université Bordeaux Montaigne)
**LARA (UT2J)

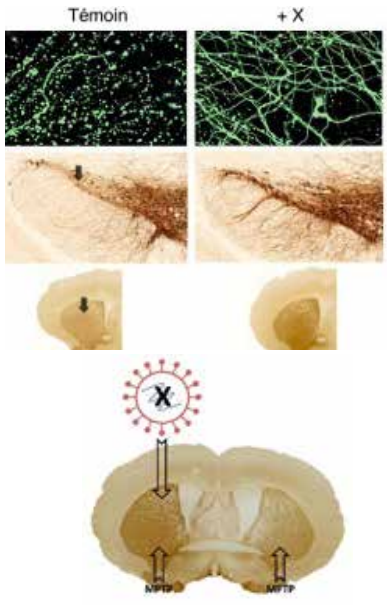
Santé

# Des virus protègent des maladies neurodégénératives

Une protéine produite par un Bornavirus est capable de forcer la survie des neurones. L'équipe de recherche dirigée par Daniel Gonzalez-Dunia au Centre de physiopathologie de Toulouse-Purpan (CPTP) a testé avec succès un peptide dérivé de cette protéine dans un modèle de souris de maladie de Parkinson. Entretien avec Marion Szelechowski et Daniel Gonzalez-Dunia, chercheurs principaux de ces travaux.

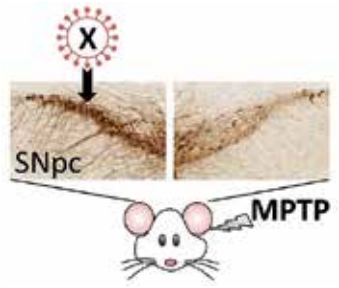
**Marion Szelechowski,** post-doctorante et **Daniel Gonzalez-Dunia,** directeur de recherche CNRS, tous deux au CPTP*

**Contact :**
daniel.dunia@inserm.fr




*Analyse de la protection neuronale conférée par la protéine X du Bornavirus. Sur des cultures neuronales, la protéine protège efficacement contre la fragmentation axonale induite par des toxines mitochondriales (panneau du haut, marquage immunofluorescent de la Tubuline neuronale, permettant de révéler la fragmentation axonale). Dans le modèle murin de maladie de Parkinson induit par la toxine MPTP, la protéine X protège à la fois de la perte des corps cellulaires (en haut) ou des terminaisons axonales (en bas) des neurones de la substance noire. Les neurones dopaminergiques sont ici révélés par immunohistochimie avec un anticorps anti Tyrosine Hydroxylase.*

*Analyse de la protection neuronale conférée par la protéine X du Bornavirus dans le striatum de souris intoxiquées avec la toxine MPTP. Les projections des neurones dopaminergiques au niveau du striatum sont révélées par immunohistochimie avec un anticorps anti Tyrosine Hydroxylase. Comparer l'hémisphère ipsilatéral ayant reçu la protéine X à l'hémisphère contralatéral.*




*Représentation schématique de la protection des neurones dopaminergiques de la substance noire qui est conférée par l'expression de la protéine X dans le cerveau d'un modèle murin de maladie de Parkinson induit par intoxication avec la toxine MPTP.*

© Marion Szelechowski – Daniel Dunia

## Vous étudiez le Bornavirus depuis longtemps. Quelle est sa particularité ?

Les cellules colonisées par un virus entrent habituellement en apoptose, c'est-à-dire en état de mort programmée, de manière à éliminer l'agent pathogène. Mais pas avec le Bornavirus : ce virus se niche à vie dans les neurones, sans les tuer et sans être éliminé. Il force la survie des neurones pour garantir sa propre survie.

## Comment le Bornavirus empêche-t-il les neurones de mourir ?

Ce virus produit une protéine appelée X. Cette protéine virale s'accumule dans les mitochondries, organites cellulaires qui produisent l'énergie de la cellule. Or les problèmes mitochondriaux sont à l'origine d'un grand nombre de maladies neurodégénératives, dont la maladie de Parkinson.

## Comment agit cette protéine ?

En collaboration avec les équipes de Jean Michel Peyrin** et de Stéphane Hunot***, nous avons réalisé différentes expériences visant à comprendre le fonctionnement de cette protéine. Les résultats ont montré que la protéine X exprimée seule, en dehors du contexte d'une infection, bloque les dommages mitochondriaux induits par un stress et responsables de la mort des neurones. En cas de stress, les mitochondries peuvent diluer ces dommages en fusionnant. De manière alternative, les cellules peuvent éliminer les mitochondries altérées. Mais quand le stress devient trop important, de petites mitochondries altérées s'accumulent dans la cellule et libèrent des signaux d'apoptose, indiquant à la cellule qu'elle doit disparaître. La protéine X semble favoriser les fusions mitochondriales et la dilution des stress subis par ces organites. C'est ce qui semble assurer la survie des neurones.

## Comment avez-vous testé son potentiel thérapeutique ?

Nous utilisons des souris modèles pour la maladie de Parkinson. Nous leur injectons un agent toxique qui provoque un stress mitochondrial sévère, entraînant la dégénérescence des neurones en trois ou quatre jours. Pour tester l'effet de la protéine X *in vivo*, les chercheurs ont construit des peptides dérivés de la protéine, conservant sa fonction mais suffisamment petits pour qu'ils puissent entrer dans les cellules et les mitochondries. Ces peptides ont été administrés aux souris. Parmi les différents peptides testés, le PX3 a permis de réduire de 40 à 53 % la dégénérescence neuronale. Ces résultats ouvrent donc la voie à des nouvelles approches thérapeutiques dans le traitement des maladies neurodégénératives, ciblées sur la protection des mitochondries.

## Prochaine étape : une étude clinique chez l'Homme ?

Nous travaillons actuellement sur la pharmacologie du peptide PX3, afin d'étudier son cheminement dans l'organisme, son mode et sa vitesse d'élimination, sa toxicité, *etc.* L'idée sera ensuite de tester son effet dans un objectif plus thérapeutique que préventif : on espère qu'il sera possible, à terme, de développer un médicament destiné aux personnes présentant un début de maladie neurodégénérative. ■

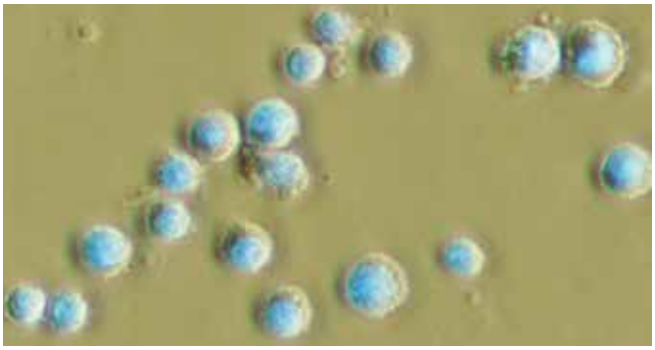
*Propos recueillis par Christine Ferran*

## ⊕ d'infos

- *"A viral peptide that targets mitochondria protects against neuronal degeneration in models of Parkinson's disease."* M. Szelechowski *and coll.*, Nat Comm du 21 octobre 2014

*CPTP (Unité 1043 Inserm / Université Toulouse III – Paul Sabatier / CNRS )
**Institut de Biologie Paris Seine, Paris (UMR 8256 CNRS)
***Institut du cerveau et de la moelle épinière, Paris (Unité 1127 Inserm / CNRS / UMPC Paris 6)

# Une avancée majeure dans la compréhension des réactions allergiques



*Visualisation des ILC2s au microscope. Le noyau des cellules est coloré en bleu. En réponse à l'IL-33, les ILC2s produisent de grandes quantités de messagers solubles impliqués dans les réactions allergiques associées à l'asthme. © Corinne Cayrol et Jean-Philippe Girard*

**Corinne Cayrol,** chargée de recherche CNRS et **Jean-Philippe Girard,** directeur de recherche Inserm, tous deux à l'IPBS*

**Contact**
Jean-Philippe.Girard@ipbs.fr

Les cellules endommagées par un traumatisme ou une infection libèrent dans l'organisme une protéine spécifique, l'interleukine-33 (IL-33), qui donne l'alerte en stimulant les cellules immunitaires. On découvre aujourd'hui que l'IL-33 agit sous une forme métamorphosée hyper-réactive qui serait responsable des symptômes d'allergie. Jean-Philippe Girard, directeur de l'Institut de pharmacologie et de biologie structurale (IPBS), nous parle de ces travaux qu'il a dirigés avec Corinne Cayrol.

## Qu'est-ce que l'Interleukine-33 ?

Nous avons découvert cette protéine en 2003. Elle appartient à la famille des cytokines. Produites par les tissus et les globules blancs, les cytokines assurent la communication entre les tissus et les globules blancs. On trouve l'IL-33 dans les poumons, la peau, l'intestin et la paroi des vaisseaux sanguins. La plupart du temps, elle est inactive, et lorsque nous l'avons découverte, nous ne connaissions pas encore son rôle. On sait aujourd'hui qu'elle joue un rôle très important dans la réponse de l'organisme après une agression, que ce soit suite à un dommage physique ou à une infection: virus de la grippe pour les cellules pulmonaires, parasites comme les vers, pour les cellules de l'intestin...

Depuis la parution de notre première publication en 2003, la mise en évidence en 2005 d'un lien entre l'IL-33 et les maladies allergiques, l'asthme en particulier, a conduit au développement d'une nouvelle thématique de recherche, qui a déjà produit plus de 900 publications. Des études à grande échelle sur des sujets prédisposés à l'asthme ont révélé un rôle majeur de la protéine IL-33, et ce quel que soit la population ou la forme d'asthme considérée.

## Comment agit cette protéine ?

La protéine IL-33 est constituée de deux parties : l'une responsable de l'activité biologique, l'autre étant inhibitrice. En étudiant les mécanismes qui régulent son activité, nous avons découvert que des enzymes produites par les mastocytes sont capables de cliver les deux parties de la protéine. La forme tronquée résultante de l'IL-33 se révèle trente fois plus active que la forme initiale entière. Chez des sujets génétiquement prédisposés, la puissance du signal est parfois suffisante pour alerter les cellules lymphoïdes innées de type 2 (ILC2) qui déclenchent les réactions en chaîne responsables de l'allergie.

## Est-il possible de contrôler un tel processus ?

Ayant observé l'effet dopant des enzymes des mastocytes sur l'IL-33, nous avons démontré par des études *in vitro* et *in vivo* que l'injection d'inhibiteurs chimiques de ces enzymes permet de réduire l'activité biologique de l'IL-33. Une expérience pilote a été effectuée sur des souris : lorsqu'on crée une allergie à partir d'une moisissure, on fait apparaître une inflammation pulmonaire. L'injection de l'inhibiteur chimique permet alors de réduire de manière significative les symptômes de l'allergie.

## Êtes-vous proches d'une application pharmacologique ?

Pour l'instant, il faut d'abord chercher à mieux comprendre comment le système fonctionne et approfondir nos observations. Actuellement, nous recherchons des inhibiteurs plus spécifiques. Il est difficile de bloquer toutes les enzymes, car il en existe plusieurs. En outre, un blocage total de l'IL-33 n'est pas souhaitable car il pourrait sensibiliser l'organisme à des infections et éliminer les effets potentiellement bénéfiques de l'IL-33 sur l'organisme. Par exemple, des études récentes ont montré que l'IL-33 avait un effet sur la réduction des graisses. ■

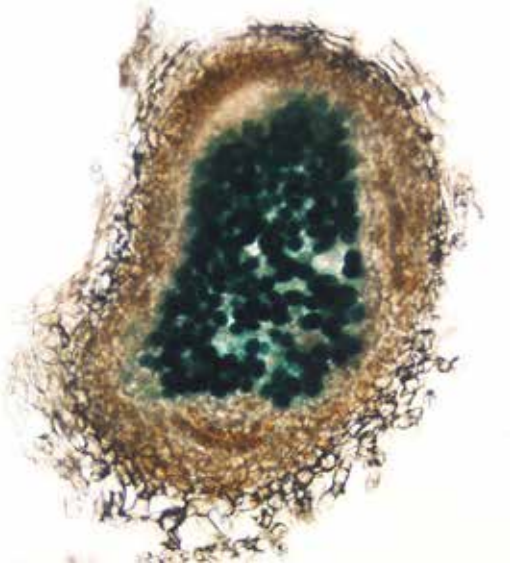
*Propos recueillis par Guy Lavigne*

## ⊕ d'infos

- *"Central domain of IL-33 is cleaved by mast cell proteases for potent activation of group-2 innate lymphoid cells"* E. Lefrançais, A. Duval, E. Mirey, S. Roga, E. Espinosa, C. Cayrol and J-P. Girard. PNAS, October 28, 2014, vol 111, no 43, pp.15502-15507.

* IPBS (Université Toulouse III – Paul Sabatier / CNRS)

Sciences du Vivant



*Nodule de mimosa induit et colonisé par R. solanacarum, dont on a forcé l'évolution en symbiote (bactéries colorées en bleu) © Marta Marchetti*

# Comment des bactéries ont acquis la capacité de fournir de l'azote aux légumineuses

Les plantes ont besoin d'azote pour croître. Incapables de fixer l'azote présent dans l'air, elles l'assimilent en général à partir des racines. D'où de gros besoins en engrais. Les légumineuses (lentilles, soja, pois chiche, mimosa, etc.) peuvent pousser sans engrais azotés. L'azote leur est fourni par des bactéries du genre Rhizobium qui le fixent pour elles. Mais comment est née cette symbiose ? L'équipe du Laboratoire des interactions plantes-micro-organismes (LIPM) animée par Catherine Masson-Boivin, en collaboration avec l'Institut Pasteur de Paris et le Genoscope d'Evry, vient de découvrir un des secrets de leur évolution : des gènes accélérateurs de mutations...

## Comment ont évolué les rhizobia ?

Ces bactéries utilisent le « transfert horizontal de gènes ». Ce mécanisme a un impact extraordinaire sur l'évolution et la diversification des microbes, en permettant l'accès à de nouvelles niches écologiques comme par exemple les organismes supérieurs. Les rhizobia forment un groupe de bactéries taxonomiquement variées capables d'établir une symbiose avec des légumineuses. Les rhizobia auraient évolué grâce au transfert, par exemple via des plasmides, de quelques gènes symbiotiques essentiels, transformant des bactéries du sol en symbiotes de légumineuses. Cependant un simple transfert de gène ne suffit généralement pas à transformer une bactérie en rhizobium. Cette symbiose est en effet très complexe. Pour s'installer, elle fait intervenir des échanges de signaux et de métabolites avec la plante tout au long de sa progression : invasion de la racine, formation de nodules racinaires, infection massive des cellules du nodule, et fixation de l'azote au profit de la plante. Les rhizobia utilisent pour la symbiose beaucoup plus de gènes que ceux qui ont été transférés. L'acquisition des capacités symbiotiques nécessite donc vraisemblablement un remodelage du génome de la bactérie réceptrice.

## Comment avez-vous étudié cette évolution ?

Pour comprendre les mécanismes moléculaires qui sous-tendent l'évolution des rhizobia, nous avons rejoué l'évolution des rhizobia en laboratoire. Nous avons introduit le plasmide symbiotique de *Cupriavidus taiwanensis*, un symbiote de *Mimosa*, dans *Ralstonia solanacearum*, bactérie pathogène de nombreuses plantes (mais pas le mimosa). Grâce à des cycles répétés de culture au voisinage de la plante puis dans la plante, nous avons progressivement fait évoluer cette bactérie chimère en symbiote de *Mimosa*. L'évolution est étonnamment rapide : en moins de 400 générations, la bactérie chimère a acquis la capacité à former des nodules *Mimosa* et à infecter leurs cellules. C'est d'autant plus étonnant que, naturellement, *R. solanacearum* vit strictement hors des cellules.

## Pourquoi l'évolution en laboratoire est-elle si rapide ?

Nous avons découvert l'existence d'un mécanisme qui accélère l'évolution de *Ralstonia* en symbiote de légumineuse : le plasmide symbiotique porte des gènes codant pour des ADN polymérases qui élèvent le taux de mutation dans le génome d'accueil avant l'entrée des bactéries dans la plante. Cette explosion de diversité génétique et phénotypique accélère le processus d'évolution symbiotique sous pression de sélection de la légumineuse hôte. Mise en présence de nombreux variants, la plante sélectionne ceux qui se montrent les mieux adaptés.

## Ce mécanisme aurait joué un rôle chez les rhizobia ?

Ce mécanisme pourrait avoir joué un rôle important dans la diversification des rhizobia. En effet ces cassettes mutagènes plasmidiques sont surreprésentées dans les lignées de rhizobia. Ces travaux mettent en évidence le rôle de la mutagénèse induite par l'environnement dans l'acquisition de caractères complexes. De façon plus générale, le co-transfert de traits phénotypiques complexes avec des déterminants de mutabilité pourrait améliorer le succès des transferts horizontaux dans la nature. ■

*Propos recueillis par Jean-François Arnal*

**Catherine Masson-Boivin,** directrice de recherche INRA, **Delphine Capela,** chargée de recherche CNRS et **Philippe Remigi,** ancien post-doctorant, tous membres du LIPM*

**Contact**
Catherine.Masson@toulouse.inra.fr

## d'infos

- *"Transient Hypermutagenesis Accelerates the Evolution of Legume Endosymbionts following Horizontal Gene Transfer."* Remigi P, Capela D, Clerissi C, Tasse L, Torchet R, Bouchez O, Batut J, Cruveiller S, Rocha EP, Masson-Boivin C. PLoS Biol. 2014 Sep 2;12(9):e1001942. doi: 10.1371/journal.pbio.1001942



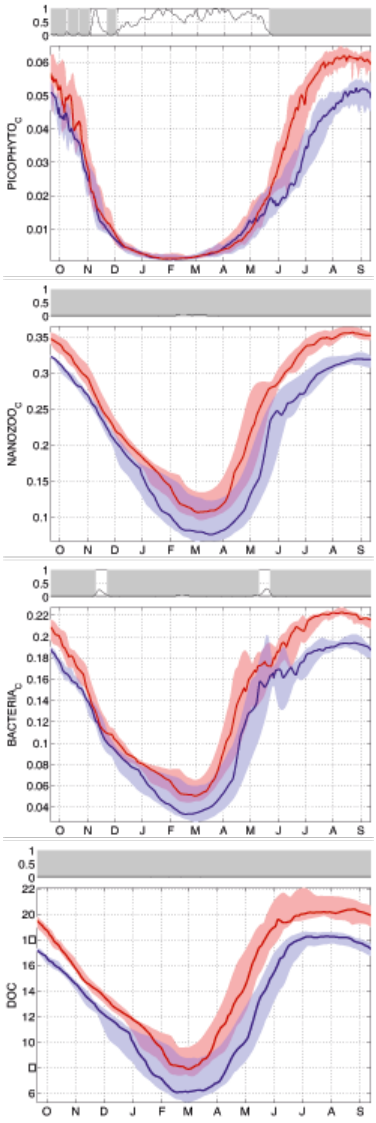
*LIPM (CNRS / INRA)

# Comment l'écosystème méditerranéen réagit au changement climatique

**Marine Herrmann,**
chercheuse IRD au LEGOS*

Une des régions les plus riches en vie de Méditerranée se trouve au nord-ouest du bassin. Marine Hermann, chercheuse au Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (LEGOS), y observe les cycles hydrologiques et les changements bio-géo-chimiques dans les eaux profondes.

**Contact**
marine.herrmann@legos.obs-mip.fr




*Cycle annuel du contenu en carbone des différents compartiments composant la boucle microbienne (bactéries, picophytoplancton, nanozooplancton et matière organique dissoute) pour les 7 années de la période présente (enveloppe bleue) et de la période future (enveloppe rouge). Les courbes plus foncées représentent la valeur médiane.*

## Pourquoi observer le mouvement des masses d'eau profonde ?

Ces masses d'eau en profondeur contiennent des nutriments. Le brassage des nutriments profonds accroît leur concentration en surface, ce qui, lors du réchauffement et de l'illumination printaniers, favorise la croissance du phytoplancton, permettant à son tour celle du zooplancton, dont dépend toute la faune.

## Comment le climat affecte-t-il les eaux marines profondes ?

La région nord-ouest de la Méditerranée est un très bon modèle d'analyse des phénomènes de convection océanique profonde. Sous l'effet des vents froids, en période hivernale, le refroidissement des eaux de surface provoque des phénomènes de convection d'autant plus importants que la température baisse.

## Comment observez-vous ces mouvements ?

Des campagnes d'observation et de mesure directes les ont décrits et des modèles physiques numériques ont depuis été établis. Ils nous ont permis dans un premier temps de mesurer la variabilité interannuelle des échanges et récemment de comparer la convection entre deux périodes de 30 ans, l'une passée (1961-1990) et sa projection future à la fin du 21e siècle (2070-2199). Nous avons aussi développé un modèle permettant de représenter les effets bio-geo-chimiques.

## Que prévoit le modèle en réponse au réchauffement climatique ?

Il faut ici distinguer le phénomène physique de convection des effets sur le plancton. La convection risque d'être significativement atténuée. Cela induirait certes la diminution de la concentration des nutriments, mais celle-ci serait biologiquement compensée par l'élévation de la température en surface. Au final, l'impact sur le métabolisme global resterait modeste. En revanche, l'écosystème pourrait changer de nature. Il sera probablement enrichi en picophytoplancton, en nanozooplancton et en bactéries, ce qui intensifiera la boucle microbienne. On pourra donc avoir un effet sur la chaîne alimentaire.

## Comment préciser ces effets ?

Nous avons mis en évidence un fort impact sur la composition en nutriments dont les effets potentiels sont multiples. Le projet global est pluridisciplinaire. Il va dépasser le modèle planctonique et aborder l'effet sur les animaux marins. Les modèles hydrodynamiques s'affinent et vont permettre d'étudier les conditions de convection à une méso-échelle tenant compte de phénomènes jusqu'alors négligés comme les tourbillons, les méandres... ■

*Propos recueillis par Patrick Calvas*

## d'infos

- *"Impact of climate change on the northwestern Mediterranean Sea pelagic planktonic ecosystem and associated carbon cycle."* JGR:Oceans. 2014 ; 119 :5815-5836.

*LEGOS (CNRS/ CNES / IRD / Université Toulouse III – Paul Sabatier)

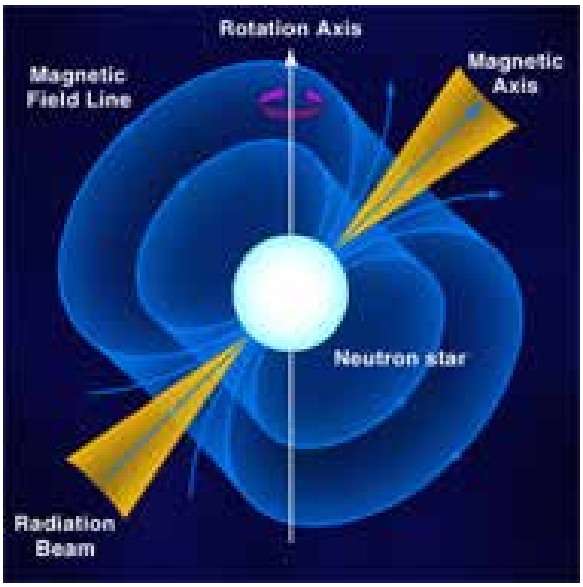
Sciences de l'Univers

# Le plus brillant pulsar jamais observé

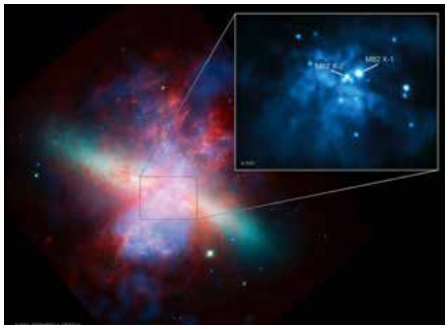
C'est un objet totalement inattendu qu'a découvert une équipe de l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP). Un pulsar tellement brillant qu'il condamne les théories d'accrétion des astres à être révisées, explique Didier Barret.

**Didier Barret,**
directeur de recherche
CNRS à l'IRAP*

**Contact**
didier.barret@irap.omp.eu




*© X-ray: NASA/CXC/Tsinghua Univ./H. Feng et al.; Full-field: X-ray: NASA/CXC/JHU/D.Strickland; Optical: NASA/ESA/STScI/AURA/The Hubble Heritage Team; IR: NASA/JPL-Caltech/ Univ. of AZ/C*



*« Galaxie M82 » : Cette image de la galaxie M82 montre des données de l'Observatoire X Chandra (zones bleues), des données optiques du Télescope Spatial Hubble (zones vertes et oranges), et des données infrarouges du Télescope Spatial Spitzer (zone rouge). Dans le carré, on voit un détail de l'image Chandra qui montre la région centrale de la galaxie et les deux sources X ultralumineuses.*

## Comment avez-vous découvert pour la première fois l'ULX-X2 ?

En observant une supernova de la galaxie M82, le télescope NuSTAR a découvert de manière fortuite une source de rayons X appelée ultra-lumineuse ou ULX. Jusqu'alors les ULX étaient considérées comme étant exclusivement des trous noirs de masse stellaire (10 fois celle du Soleil) ou intermédiaire (1000 fois). L'observation de l'ULX de Messier 82, appelée X-2, a néanmoins démontré que cette dernière émettait un signal périodique en rayons X, preuve qu'il s'agissait en réalité d'un pulsar.

## Qu'est-ce qu'un pulsar ?

Un pulsar est une étoile à neutrons magnétique en rotation, qui se forme lors de l'explosion d'une étoile (supernova). L'axe magnétique n'est en général pas aligné avec l'axe de rotation de l'étoile. L'émission X est générée sous forme de faisceaux (cônes) aux deux pôles magnétiques opposés de l'étoile. Le cône d'émission croisant périodiquement l'observatoire, un pulsar se manifeste par un signal périodique, de période exactement égale à la période de rotation de l'étoile à neutrons. Dans le cas de X-2, la période de rotation de l'étoile à neutrons est de 1.37 secondes.

## En quoi ce pulsar est-il différent de ceux que l'on connaissait jusqu'ici ?

Si sa masse et sa taille ne sortent pas de l'ordinaire, le pulsar de M82 rayonne en revanche une énergie équivalente à 10 millions de fois celle du Soleil et est environ 100 fois plus brillant que le pulsar le plus brillant connu à ce jour. Lorsque la matière chute (ou est accrétée) sur une étoile à neutrons ou sur un trou noir, elle s'échauffe et émet un intense rayonnement X. Ce rayonnement X génère une pression dite de radiation vers l'extérieur. Cette pression s'exerce sur la matière qui chute sous l'effet de la gravité générée par l'objet compact. Un équilibre s'établit ainsi, et une luminosité X maximale est atteinte. Cette luminosité d'équilibre est de plus proportionnelle à la masse de l'objet compact (trou noir ou étoile à neutrons).

## En quoi cette découverte change-t-elle notre vision des ULX et des étoiles à neutrons ?

Le pulsar X-2 défie nos connaissances. Sa luminosité X est cent fois supérieure à la luminosité X à l'équilibre pour une étoile à neutrons de cette masse (environ une fois la masse du Soleil). Ceci implique de revoir nos théories de l'accrétion, en particulier sous l'effet d'un champ magnétique. Cette découverte nous oblige aussi à reconsidérer les théories de formation des ULXs, en relaxant l'hypothèse qu'elles doivent être uniquement composées de trous noirs. Former des trous noirs implique de former des étoiles très massives, moins nombreuses que les étoiles nécessaires à former des étoiles à neutrons. C'est ainsi que notre découverte pose des contraintes sur la formation des étoiles des galaxies qui contiennent des ULXs. ■

*Propos recueillis par Alexandre Papin*

## d'infos

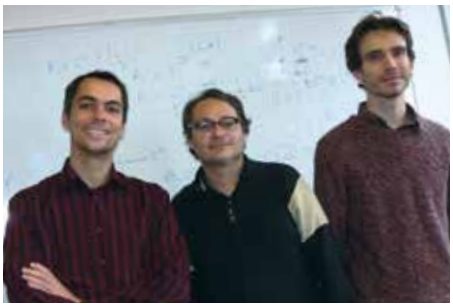
- *"An ultraluminous X-ray source powered by an accreting neutron star"*, M. Bachetti et Al., Nature, octobre 2014



*IRAP (CNRS / CNES / Université Toulouse III – Paul Sabatier)

# Apparition et disparition de l'invariance d'échelle quantique

En collaboration avec une équipe internationale,* le Laboratoire de physique théorique (LPT) a étudié des systèmes où le transport des électrons pouvait suivre des lois inédites. Ils ouvrent sur des matériaux aux propriétés nouvelles.



**Olivier Giraud,** chargé de recherche CNRS au LPTMS Orsay ; **Bertrand Georgeot,** directeur de recherche CNRS au LPT** et **Gabriel Lemarié,** chargé de recherche au LPT

**Contact**
georgeot@irsamc.ups-tlse.fr

## Vous vous intéressez à des matériaux qui ne sont ni vraiment conducteurs, ni vraiment isolants. De quoi s'agit-il ?

On a tendance à voir les atomes comme des structures simples, munies d'un noyau et d'électrons qui forment un nuage autour, permettant notamment d'assurer les liaisons chimiques des matériaux. Un matériau est fait d'un arrangement plus ou moins régulier de tels atomes. Pour certains matériaux, les électrons des atomes qui les constituent sont piégés. Dans ce cas, il n'existe pas de conduction électrique et nous avons affaire à un matériau isolant. En revanche, si les électrons peuvent librement se déplacer dans la structure, le matériau est conducteur d'électricité (métaux par exemple). Il existe cependant un état intermédiaire entre ces deux situations, dans lequel on pourrait dire de façon très simplifiée que les électrons sont « semi-piégés » autrement dit, ils peuvent aussi se retrouver en « semi-liberté ».

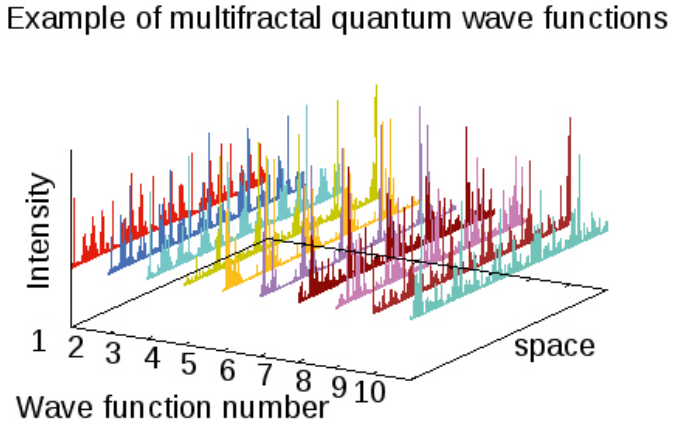
## Comment les électrons bougent-ils dans un tel matériau ?

Lorsque le matériau se trouve dans cette situation où les électrons sont « localisés-délocalisés » la fonction d'onde de ces électrons présente de grandes fluctuations avec une invariance d'échelle. Cette fonction d'onde peut être vue comme un objet fractal, et même multifractal. Si cette multifractalité est toujours détruite *in fine* quand on perturbe le système, elle peut être observée et étudiée avec des outils combinant la physique fondamentale, des simulations numériques et des calculs analytiques qui vont permettre de comprendre comment elle s'installe, elle fluctue puis se détruit. En d'autres termes, ils donnent une clé pour percer les mystères des transitions métal-isolant.

## Comment étudiez-vous le comportement des électrons dans ces matériaux ?

Dans le cas des systèmes quantiques, on comprend bien que les fluctuations de la fonction d'onde sont très difficiles à observer expérimentalement, c'est pourquoi il est nécessaire de mettre en œuvre des simulations numériques. Celles-ci ont permis de mettre en évidence que, quelle que soit la perturbation envisagée, la destruction de la multifractalité est inexorable. Suivant les scénarios envisagés, et nécessitant des simulations de grande ampleur, ces fluctuations peuvent disparaitre rapidement à grande échelle, ou rester préservées à toutes les échelles mais diminuant au fur et à mesure qu'augmente la perturbation. Ces propriétés sont générales et *in fine* la multifractalité est détruite pour des perturbations suffisamment grandes. S'il n'est pas encore possible de déterminer a priori lequel des deux scénarios sera suivi, car ils dépendent des perturbations expérimentales encore mal connues, ces premiers éléments permettent déjà d'interpréter ou de prédire de nombreux résultats expérimentaux sur ces systèmes quantiques. ■

*Exemple de fonctions d'onde multifractales*




*Propos recueillis par Sylvie Roques*

*Travail effectué en collaboration avec l'Instituto de Investigaciones Físicas de Mar del Plata - IFIMAR (CONICET), Argentine ; le Laboratoire de physique théorique et modèles statistiques (LPTMS), Orsay et l'Institut de Physique Nucléaire, Atomique et de Spectroscopie, Université de Liège.

## d'infos

• *R. Dubertrand, I. García-Mata, B. Georgeot, O. Giraud, G. Lemarié, et J. Martin, Physical Review Letters, 2014*

**LPT (IRSAMC - CNRS/Université Toulouse III – Paul Sabatier)

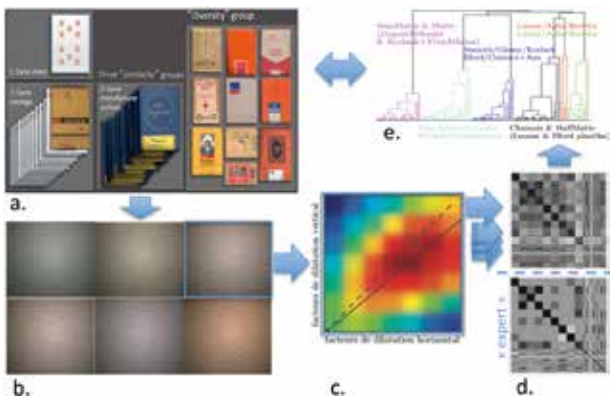
Informatique

# Identifier les photographies d'art par l'analyse multifractale de leur texture

**Herwig Wendt,**
chargé de recherche
CNRS à l'IRIT*

**Contact**
herwig.wendt@irit.fr

Une nouvelle méthode de caractérisation mathématique de la rugosité multi-échelle du tirage papier d'une photographie d'art pourrait aider les experts à déterminer l'origine de tirages dont l'attribution est contestée ou controversée. Herwig Wendt a participé à ce projet original.




*a. illustration schématique de la base de papiers photographiques utilisée dans l'expérience*

*b. 6 exemples représentatifs de textures de papier photographique*

*c. représentation multi-échelle d'une texture de papier photographique, les axes correspondent aux (log2 des) facteurs de dilatation de l'image*

*d. en haut, matrice de distance entre toutes les textures calculées uniquement à partir de leurs représentations multi-échelle ; en bas, pour comparaison, matrice de distance obtenue manuellement par un expert en utilisant des méta-données supplémentaires*

*e. exemple de classification (« clustering ») des papiers photographiques obtenu par la représentation multi-échelle de leurs textures*

## D'où est venu ce projet de collaboration avec un centre d'art ?

Pour s'assurer de l'authenticité ou de l'origine d'une photographie d'art, les conservateurs de musée ou les experts examinent une à une les œuvres, et les comparent à des photographies de référence. Les inspections visuelle et tactile des caractéristiques du papier photographique permettent de vérifier que deux photos différentes ont bien été tirées sur des feuilles produites par un même fabricant, voire extraites d'un même paquet. Le musée d'art moderne de New-York, le MoMA, a ainsi reçu une collection de photographies historiques de la première moitié du XX$^{e}$ siècle, plus particulièrement de l'entre-deux-guerres. Toutes n'étant pas annotées, il a lancé un appel à collaboration, sous forme d'une « compétition collaborative », visant à évaluer l'aptitude d'outils avancés de traitement statistique d'images dans la réalisation de cette classification de façon performante, automatique, reproductible et quantifiée à partir de la texture du papier. Notre équipe, associant physiciens, mathématiciens et experts en traitement du signal avait déjà travaillé par le passé sur des travaux appliqués à l'art, en partenariat avec le musée Van Gogh d'Amsterdam, nous avons donc décidé de répondre à cet appel.

## Comment avez-vous travaillé ?

Nous partons donc de la problématique suivante : « que peut-on extraire comme information de la texture du papier photo ? ». Nous nous concentrons donc sur le support de l'œuvre d'art, plutôt que sur l'œuvre elle-même. Nous avons alors proposé de faire reposer notre mesure sur l'analyse de la rugosité de la texture, observée à différentes résolutions, ou échelles. La quantification de la rugosité repose sur l'évolution de ces analyses à travers un large continuum d'échelles. Une base de données de papier photo historique de référence a été analysée avec différentes approches de traitement d'image et nous a permis de valider la pertinence de l'information de texture extraite par notre méthode.

## Quelle méthode avez-vous utilisée ?

La première phase a consisté à obtenir pour chaque échantillon une « carte d'identité » numérique de la texture qui consiste en quantités multi-échelles obtenues à l'aide d'une transformée en ondelettes hyperboliques. La qualité de l'outil développé réside dans son aptitude à mesurer les propriétés multi-échelles de la rugosité de la texture tout en rendant compte d'une éventuelle anisotropie de la texture. Cela est permis par l'utilisation de facteurs de changement d'échelle horizontal et vertical différents. Les 49 quantités multi-échelles utilisées pour chaque échantillon sont obtenues en prenant le logarithme de la variance des coefficients d'ondelette pour chaque couple d'échelle horizontal et vertical après normalisation de l'énergie globale. Cette procédure permet à la fois de s'affranchir des différences d'éclairage entre échantillons et d'obtenir une contribution sensible de la rugosité à toutes les échelles. Cette approche quantifie ainsi la texture pour tout un continuum d'échelles. Cette évolution caractérise la rugosité de la texture, attribut d'importance pour les experts par son impact sur le rendu de la photo. La proximité entre échantillons est ensuite déterminée en calculant une distance entre ces cartes d'identités.

## Cette méthode est-elle donc utilisable par les conservateurs du musée ?

Elle pourrait. Les performances de classification obtenues ont favorablement impressionné les experts de ces photos d'art, qui ont décidé de reconduire cette expérience sur un nouveau jeu de données de plus grandes tailles (2 500 photos), contenant des photographies d'art dont l'origine ou l'attribution restent contestées ou controversées. ■

*Propos recueillis par Carine Desaulty*

## ⊕ d'infos

• "Pursuing automated classification of historic photographic papers from raking light images" Journal of the American Institute for Conservation (2014)

*IRIT (Université Toulouse III – Paul Sabatier/CNRS/INPT/Université Toulouse 1 Capitole/Université Toulouse Jean Jaurès)

# **La Recherche** à l'Université Toulouse III - Paul Sabatier

**Le potentiel de recherche de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier se répartit sur 82 laboratoires, la plupart unités mixtes avec le CNRS, l'Inserm, l'IRD, l'Inra, le CNES...**
**2500 enseignants-chercheurs et chercheurs, 2000 personnels techniques et administratifs travaillent dans ces laboratoires.**

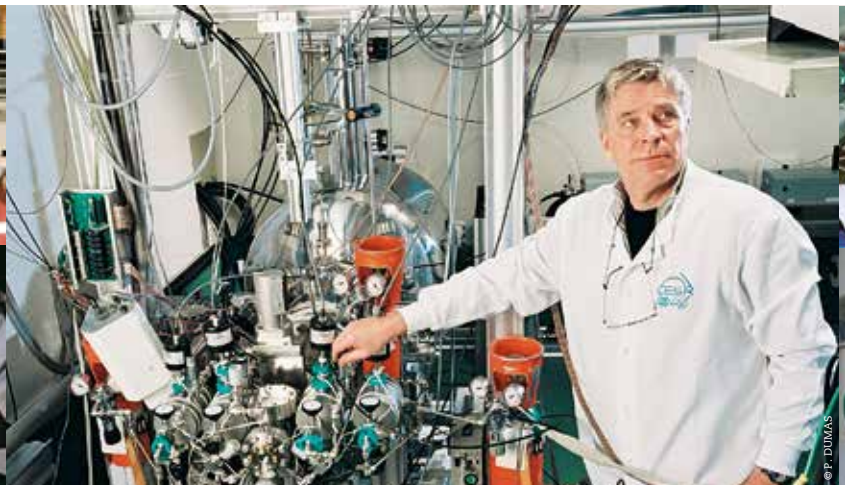
## Les quatre grands pôles de recherche sont :

> **MST2I** (Mathématiques et Sciences et Technologies de l'Information et de l'Ingénierie) : **5 laboratoires mixtes, 1 laboratoire CNRS, 3 EA*, 5 fédérations**
> **UPEE** (Univers, Planète, Espace, Environnement) : **9 laboratoires mixtes, 1 Observatoire, 1 fédération**
> **SdM** (Sciences de la matière) : **10 laboratoires mixtes, 3 laboratoires CNRS, 2 fédérations**
> **SdV** (Sciences du vivant) : **20 laboratoires mixtes, 2 unités universitaires, 1 laboratoire Inra, 11 EA*, 5 fédérations**

**À ces quatre pôles, il faut ajouter un axe : CIGEDIL (Communication, Information, Gestion et Didactique des Langues) : 1 EA *et 2 unités universitaires**

***EA : équipe d'accueil**

**1700 doctorants sont inscrits à l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, répartis dans 11 Écoles Doctorales, dont 6 pilotées par l'Université.**



**+ d'infos**

**www.univ-tlse3.fr**
**rubrique "recherche"**

# Exposition

## « Ils vont faire l'université de demain, portrait d'une génération étudiante »

L'université a consacré une exposition à ses étudiants, à l'occasion du 45e anniversaire de l'université et pour le lancement des grands travaux sur le campus de Rangueil.
Cette exposition propose une mosaïque de portraits d'étudiants sur la façade du bâtiment administratif et une exposition itinérante.

*© Direction de la communication et de la culture*
*Photographie : © A. Labat, DR.*